

# 农村河道水质提升集成技术研究

吴学春<sup>1</sup>, 翁佳兴<sup>1,2\*</sup>, 陈振国<sup>3</sup>, 王从友<sup>1</sup>, 吉 锋<sup>1,2</sup>, 李一凡<sup>3</sup>, 李云超<sup>3</sup>

(1. 南水北调东线江苏水源有限责任公司, 江苏 南京 225000;

2. 南水北调江苏生态环境有限公司, 江苏 南京 225000;

3. 苏州方舟环保科技有限公司, 江苏 苏州 215000)

**摘要:** 针对富营养化农村河道水体修复的需求, 以氮、磷营养盐和化学需氧量深度削减为目标, 提出旁路净化和水生态强化净化的水质提升集成技术并进行示范应用。结果表明: 硫铁耦合脱氮工艺在处理河道水环境方面具有调试稳定周期短、脱氮除磷能力良好稳定、抗冲击能力强等优点; 水生态强化工程则能够促进水体中有益微生物的生长, 增加水体生态系统的稳定性; 集成技术可将水质由劣V类稳定提升到Ⅲ类, 降低污染隐患, 改善河道生态环境状况。

**关键词:** 富营养化; 水质提升; 旁路净化; 生态修复; 农村河道

中图分类号: X522

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2023)10-0022-0004

## Research on integrated technology of rural river water quality improvement

WU Xuechun<sup>1</sup>, WENG Jiaying<sup>1,2\*</sup>, CHEN Zhenguo<sup>3</sup>, WANG Congyou<sup>1</sup>, JI Feng<sup>1,2</sup>,  
LI Yifan<sup>3</sup>, LI Yunchao<sup>3</sup>

(1. The Eastern Route of South-to-North Water Diversion Jiangsu Water Resource Co., Ltd.,  
Nanjing 225000, China; 2. Jiangsu Ecological Environment Co., Ltd., of the South-to-North Water Diversion  
Project, Nanjing 225000, China; 3. Suzhou Fangzhou Environmental Protection Technology Co., Ltd.,  
Suzhou 215000, China)

**Abstract:** This project focused on the restoration of eutrophic rural river, with the goal of deep reduction of nitrogen, phosphorus nutrients, and chemical oxygen demand. The integrated water quality improvement technology of bypass purification and water ecological enhancement purification was proposed and demonstrated. The results indicated that the sulfur-iron coupling denitrification process has advantages in treating river water, such as short debugging time, well ability of denitrification and phosphorus removal, and strong shock resistance; Water ecological

收稿日期: 2023-08-09

基金项目: 江苏水利科技项目(2020064), 中国博士后科学基金资助项目(2023M731816), 江苏“卓博计划”资助项目(2022ZB815), 浙江省重点研发计划项目(2020C03080)

作者简介: 吴学春(1969—), 男, 研究员级高级工程师, 本科, 主要从事水利工程规划设计、管理和研究。E-mail: 570053057@qq.com

通信作者: 翁佳兴(1988—), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事水生态修复技术的研究、应用与产业化。E-mail: wengjiayingseu@163.com

enhancement project increased the stability of water ecosystems by promoting the growth of functional microorganisms in the water. The integrated technology can steadily improve water quality from poor class V to class III, reduce the pollution and improve the ecological environment of the river.

**Key words:** eutrophication; water quality improvement; bypass purification; ecological restoration; rural river

## 1 概述

《江苏省现代水网建设规划》提出,2035年前基本建成具有江苏特色的“系统完备、安全可靠,集约高效、绿色智能,循环通畅、调控有序”的现代水网。农村河网水系是骨干水网的重要补充。受周边村镇外源污染输入的影响,部分农村河道水体呈现富营养化状态。本项目针对富营养化农村河道水体修复的需求,以氮、磷营养盐和化学需氧量深度削减为目标,开展农村河道水质提升集成技术研究。

## 2 河道现状

项目选取淮安市新河地区中心河为研究对象。新河地区河网发达,农村支流较多,汇水面积大,沿岸集镇仍有生活污水排入。部分农村支流河道水生态系统简单、水体透明度低,盐化新区工业废水也存在通过白马湖上游引河进入新河的风险。本次所调查的农村支流河道—中心河位于南闸镇,该支流河道存在多种污染外源,具有一定的代表性。开展中心河沿线的实地踏勘,该河两侧主要为光伏电站及螃蟹养殖用地,河道北侧为南闸镇敬老院及餐饮商铺,河道周边典型的分散点源污染和农业面源污染,居民生活污水、养殖废水、农田污水和降雨初期地表径流等直接排入河道,直接影响新河地区水质;河道淤积严重,河道大部分区域水深不足0.5 m,有沼泽化趋势,水体流动性不足,北侧河道受生活污水影响,水质发黑发臭,已出现黑臭指示性物种——刚毛藻;同时,该河段水体流动性较差,污染物扩散较慢,自净能力不足,易造成污染累积。

2021年7月在河道两端及中部间隔布置4个采样点位,依据《水环境监测规范(SL219—2013)》检测其化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)、总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N),见表1、图1。由表1可知,河道水质主要超标因子为COD<sub>Cr</sub>和TN。该河段的污染现状具有典型性和代表性,以该河段开展现场示范工程,可有力验证集成技术的适用性,且该河道属于

旁支河道,行水要求较低,可满足技术示范应用需求。

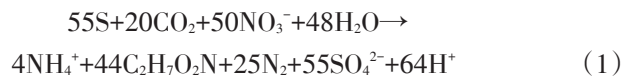
表1 技术处理前河道水质指标

采样点	化学需氧量 质量浓度/ (mg/L)	总氮质量 浓度/ (mg/L)	总磷质量 浓度/ (mg/L)	氨氮质量 浓度/ (mg/L)
1	210	14.4	0.66	3.78
2	185	16.5	0.62	3.78
3	160	18.0	0.58	2.58
4	168	16.9	0.56	2.63

## 3 集成技术应用

针对农村河道部分区域流动性不足、内外源污染较重、水生植被单一和自净能力丧失的污染现状,采用内源污染削减、旁路净化、生态强化净化和植物自组织修复等生境改善技术,构建以活水—净化—修复为基础的河道水环境组合修复系统,为水生植物、动物、微生物创造良好的生存环境,实现水生态系统的良性循环,从根本上改善水质、恢复水体持续自净能力(图2)。

旁路净化选取的硫铁耦合脱氮工艺应用新型自养反硝化技术,微生物在缺氧条件下,以硫为电子供体,以无机碳作为碳源,将硝酸盐还原为氮气,主要实现对进水中硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)的反硝化,同时去除部分TP。脱氮池中装填特制硫铁耦合填料,利用滤料上生长、附着的微生物的代谢作用,吸附、降解污水中的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、有机物,去除部分TP。硫铁耦合脱氮技术具有不依赖碳源、脱氮效率高且效果稳定等特点。硫自养反硝化是微生物以还原态硫(S<sup>2-</sup>、S、S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>等)为电子供体,以CO<sub>2</sub>作为碳源,将硝酸盐还原为氮气,其方程式及原理如下:



在脱氮硫杆菌的作用下,单质S失去电子变成SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>得到电子被还原成N<sub>2</sub>;同时,单质Fe也具

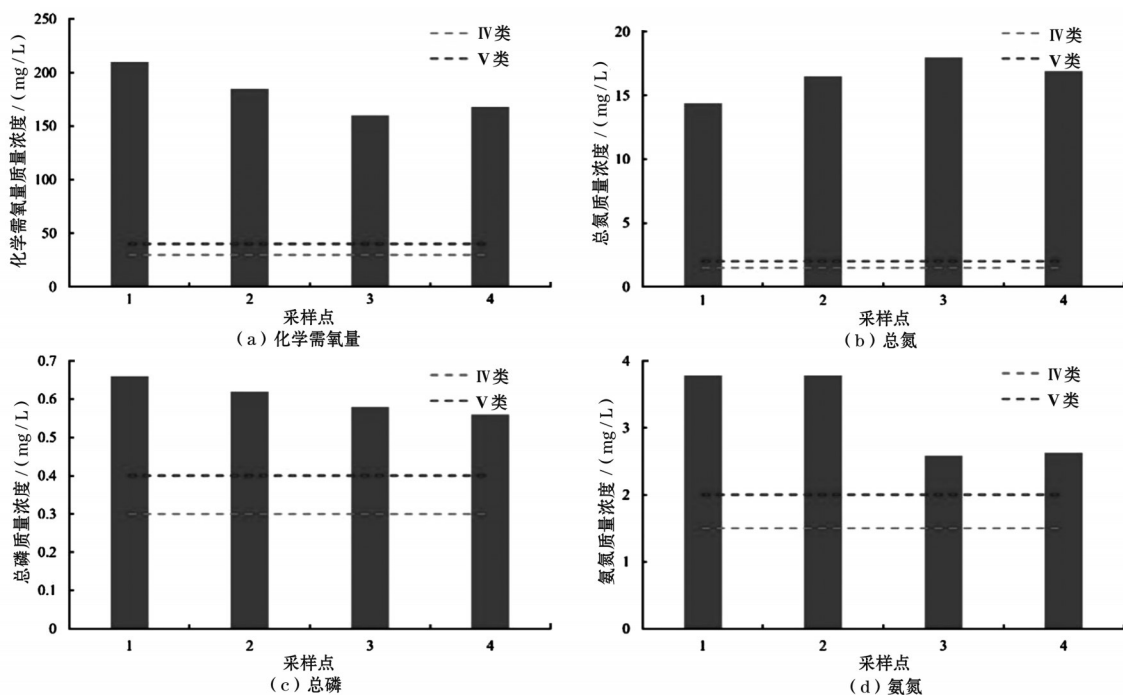


图1 初始河道水质情况

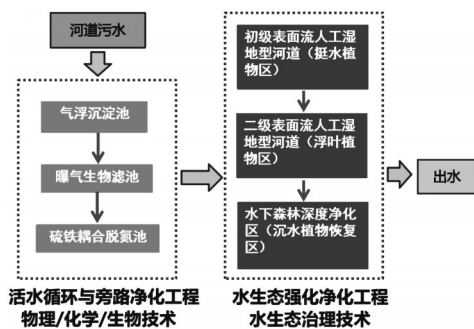


图2 旁路净化与活水循环示范工程工艺流程

有较强的还原作用,Fe失去电子变成 $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{NO}_3^-$ 被还原生成 $\text{NO}_2^-$ 和 $\text{NH}_4^+$ ,生成的一部分 $\text{NO}_2^-$ 被直接还原成 $\text{N}_2$ ,这样,将污水中的 $\text{NO}_3^-$ 去除。硫自养反硝化产生的 $\text{H}^+$ 还会促进Fe溶出,从而提升除磷效果<sup>[1]</sup>。该工艺具有低成本、低能耗、低污泥产率、高效率、高抗冲击能力、运行稳定等特点,在诸如河道水的低C/N比废水处理领域,具有明显的经济优势和广阔发展前景<sup>[2]</sup>。在氮污染物削减方面,相比传统异养反硝化滤池,无需外加碳源,能极大降低运行成本和运行难度,同时降低早期投入成本<sup>[3-4]</sup>。旁路净化阶段可以稳定削减水体中污染物总量,为后续水生态强化治理提供良好的保障,提升河道水污染事故应急处理能力<sup>[5]</sup>。

水生态强化净化技术是利用人工湿地模拟自然湿地的人工生态系统,将石、砂、土壤、煤渣等基

质按一定比例混合,利用水生植物搭配去除水体污染物。本项目通过三级表流人工湿地,选用不同的植物品种构建一个独特的土壤、植物、微生物综合生态系统,恢复河道生物多样性,稳定水质。

### 3.1 旁路净化工程工艺布置与流程

项目组在河道岸边设置一套处理规模为100 t/d的移动式污水处理设备。污水泵首先从河道下游提水至岸上旁路处理系统中的曝气生物滤池,进行氨氮的硝化,并对有机物进行降解、同时截留SS。滤池出水进入中间水桶,经泵打入硫铁耦合脱氮池,在无需外加有机碳源的情况下将硝酸盐还原为氮气(图3)。脱氮池的出水排放入河道上游,进入后续的处理工艺,由此形成旁路净化、生态提升和人工动力循环<sup>[6]</sup>。旁路净化工艺设计出水水质指标达地表水IV类标准以上,即 $\rho(\text{COD}) \leq 30 \text{ mg/L}$ , $\rho(\text{NH}_4^+-\text{N}) \leq 1.5 \text{ mg/L}$ , $\rho(\text{TP}) \leq 0.3 \text{ mg/L}$ , $\rho(\text{TN}) \leq 1.5 \text{ mg/L}$ 。

### 3.2 水生态强化净化工程工艺布置与流程

用于尾水深度净化的生态河道按照功能分区依次分为初级表流人工湿地型生态河道(挺水植物区)、二级表面流人工湿地型河道(浮叶植物区)和水下森林深度净化区(沉水植物恢复区),经过三级净化后出水<sup>[7-8]</sup>。具体流程见图4。

水生态强化净化工程的备选植物包含土著种(水鳖、浮萍、槐叶萍、狐尾藻、水盾草)和采购种(大

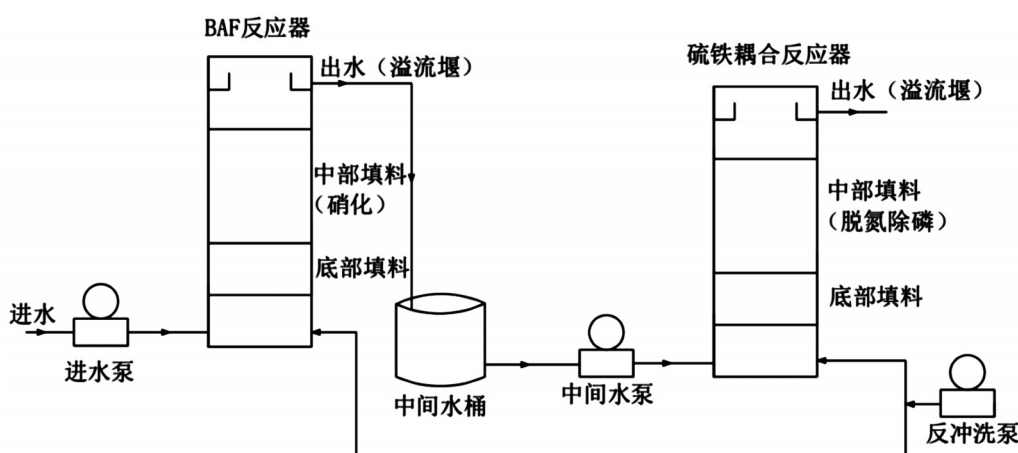


图3 旁路处理系统

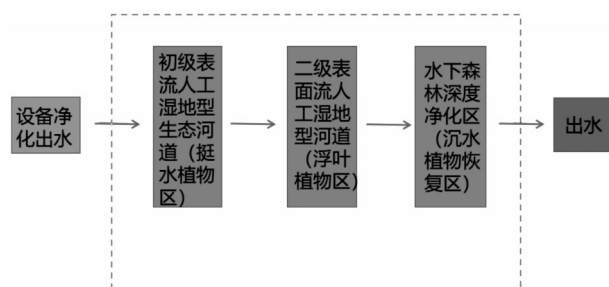


图4 尾水生态净化流程

藻、睡莲、轮叶黑藻、苦草、篦齿眼子菜),优化组合实验结果表明浮叶植物选取本土的水鳖和易控养的大藻,沉水植物选择穗花狐尾藻、水盾草为优势种,苦草为伴生种效果较好。项目施工完成后,历经5个月的运维,水质显著提升至地表水Ⅲ类标准,河道的自净能力恢复,水质持续向好。2021年12月至2022年1月,冬季的水质监测报告显示,生态河道系统顺利越冬,水质稳定在地表水Ⅲ类标准(表2、图5)。

表2 生态修复后河道水质指标

采样点	化学需氧量 质量浓度/ (mg/L)	总氮质量 浓度/ (mg/L)	总磷质量 浓度/ (mg/L)	氨氮质量 浓度/ (mg/L)
1	12	0.71	0.07	0.10
2	10	0.30	0.06	0.08
3	10	0.33	0.05	0.08
4	14	0.30	0.06	0.09

## 4 结 语

构建互联互通、引排顺畅、生态良好的农村河

网水系可作为骨干水网的重要补充。研究提出集成应用旁路净化和水生态水体强化净化的水质提升集成技术并进行示范应用,主要结论如下:(1)旁路净化工程运行结果表明硫铁耦合脱氮工艺在处理河道水方面具有调试稳定周期短、脱氮除磷能力良好稳定、抗冲击能力强等优点,可广泛应用于河道水体净化工程;(2)水生态强化工程则能够促进水体中有益微生物的生长,达到改善水中微生物、原生动植物的生活条件,净化水质的目的,能够增加水体生态系统的稳定性;(3)集成技术可将水质由劣Ⅴ类稳定提升到Ⅲ类,消除污染隐患,可加快推进农村生态河道建设,巩固恢复农村河道引排能力,改善生态环境,提供高品质、多内涵的水生态保障。

### 参考文献:

- [1] GUO Y, ZHOU X, LI Y, et al. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by a novel *Halomonas campisalis* [J]. *Biotechnology Letters*, 2013, 35 (12) : 2045-2049.
- [2] CHEN Q, NI J. Heterotrophic nitrification-aerobic denitrification by novel isolated bacteria[J]. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 2011, 38(9):1305-1310.
- [3] WANG Y, CHARLES B, ROBERT N. Sulfur-based denitrification: Effect of biofilm development on denitrification fluxes[J]. *Water Research*, 2016, 100(1):184-193.
- [4] 苏晓磊. 硫—硫铁填充床用于城市污水深度脱氮除磷的研究[D]. 北京:清华大学, 2015.
- [5] LI R, FENG C P, HU W W, et al. Woodchip-sulfur based heterotrophic and autotrophic denitrification (WSHAD) process for nitrate contaminated water remediation [J].

(下转第34页)



预防机制,健全风险防范化解机制,加强应急管理,提高安全生产水平,确保安全生产。

## 4 结 语

本文以吴淞江(江苏段)整治工程一期(黄埭江-油墩港段)工程中较为典型的预制桩基础箱式生态砌块挡墙为案例,从方案设计、施工管理方面分析了预制桩基础、堤防填筑、防汛道路、二级箱式生态护岸,并重点对该类型挡墙设计、施工及组织等注意要点进行剖析。一期工程一标段于2022年5月16日召开开工动员会,施工期间克服了诸多困难,并按期完成各项建设任务,目前已顺利通过完工验收。根据施工结果,整体效果良好,为后续工程的推进起到了很好的技术指导和借鉴。

### 参考文献:

- [1] 冯进达. 简述排桩挡土墙在水利护岸工程中的应用[J]. 工程技术, 2017(2): 166-168.
- [2] 陈锡林, 金忠良, 陈于, 等. 装配式生态护岸工程的设计与施工[J]. 江苏水利, 2022(6): 1-5.
- [3] 崔立柱, 汪海涛. 桩板式挡墙在水利工程河道治理中的应用[J]. 治淮, 2022(1): 29-31.
- [4] 朱振华. 水利工程堤防护岸工程施工技术[J]. 工程与建设, 2022, 36(3): 783-785.
- [5] 郁董凯, 邵帅. 城市河道阶梯式生态砌块挡墙施工技术研究[J]. 技术与市场, 2021, 28(9): 54-56.
- [6] 李建斌. 软土路基沉降问题研究[J]. 山西建筑, 2017, 43(27): 111-112.
- [7] 孙勇. 土工格栅加固处理软土路基优化研究[J]. 公路工程, 2019, 44(6): 119-122, 146.

(上接第25页)

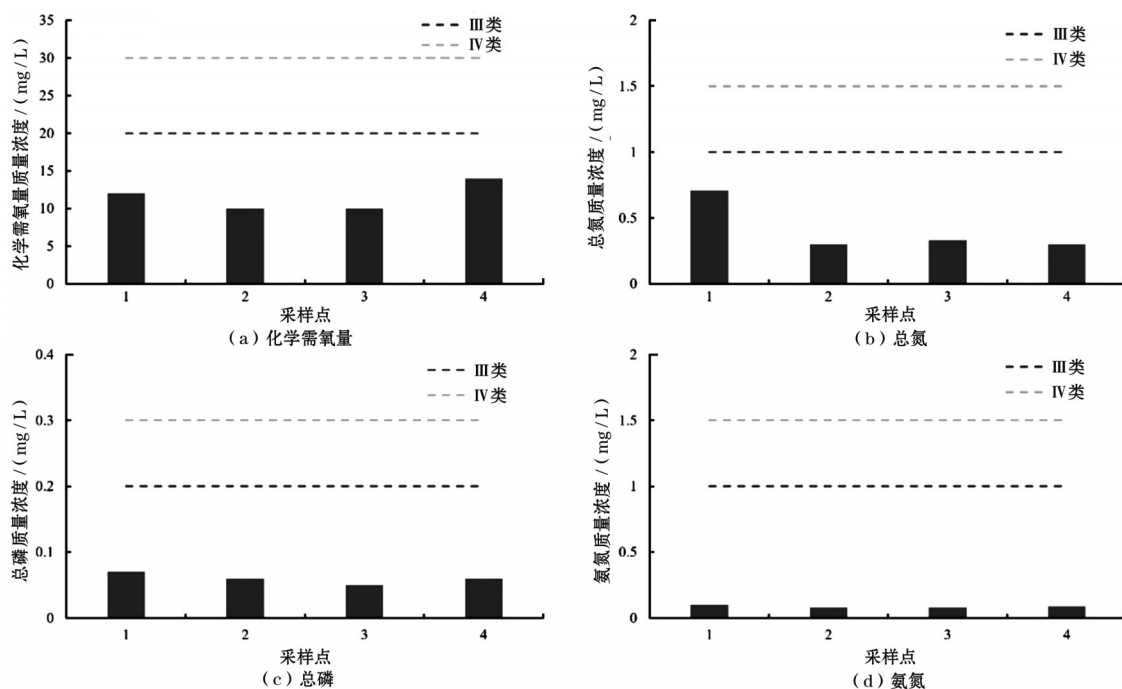


图5 生态修复后河道水质指标

Water Research, 2016(89): 171-179.

- [6] 方佩珍, 何新军, 金润, 等. 硫铁耦合中试反应器脱氮除磷效果研究[J]. 水处理技术, 2020, 46(10): 116-119, 123.
- [7] 丁经祥, 栗斌, 郑海粟, 等. 苏州城区河道大型水生生物分布特征[J/OL]. 上海海洋大学学报: 1-16[2023-08-24].

<http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.2024.S.20220725.1722.004.html>

- [8] 孙贻超, 邢妍, 孙静, 等. 国家水体污染控制与治理科技重大专项“天津滨海工业带废水污染控制与生态修复综合示范”项目的主要研究成果及其应用[J]. 环境工程学报, 2022, 16(7): 2111-2121.